

УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГЕТЕРОЛАЗЕРА

М.А. Манько

Предложен метод активного управления пространственными характеристиками излучения гетеролазеров.

Известно, что прохождение электрического тока в гетеролазере сопровождается разогревом активной области, что ведет к увеличению ее диэлектрической проницаемости (температурный волноводный эффект); в то же время при увеличении тока накачки концентрация электронов в активной области возрастает, вызывая уменьшение диэлектрической проницаемости (антиволноводный эффект). Комбинация этих двух способов изменения диэлектрической проницаемости дает возможность управлять потерями активного волновода, в качестве которого принято рассматривать активную область гетеролазера, и конфигурацией его собственной моды. Так удалось добиться сужения, симметризации и стабилизации электромагнитного поля в полосковых GaAlAs-гетеролазерах с мелкой мезаструктурой вследствие создания нестационарного температурного волновода [1, 2] в режиме накачки двойными импульсами тока, когда основному импульсу накачки предшествует предварительный импульс положительной (с амплитудой ниже порога) или отрицательной полярности. Оценки показывают, что наблюдаемое смещение спектра генерации на 2,7 нм в длинноволновую сторону соответствует увеличению температуры активной области на ~10 К. Такой разогрев приводит к увеличению действительной части диэлектрической проницаемости на величину $\delta\epsilon = (\partial\epsilon/\partial T)\delta T \approx 3 \cdot 10^{-2}$ ($\partial\epsilon/\partial T \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ [3, 4]), причем экспериментально величину $\delta\epsilon$ можно было варьировать изменением как амплитуды и длительности предварительного импульса, так и временем задержки между предварительным импульсом и основным импульсом накачки. В работе [5] была предпринята попытка ослабить антиволноводное

действие инжектированных носителей в гетеролазере на основе двойной гетероструктуры в системе GaAs-AlGaAs за счет применения двойного полоскового контакта, изготовленного фотолитографическим методом и представляющего собой две полоски шириной 4 мкм с расстоянием между ними 2 мкм. В результате неоднородной накачки, осуществляемой через такой двойной контакт, в определенном интервале амплитуд и длительностей импульсов накачки наблюдался провал в центральной части профиля усиления (были измерены значения кривизны волнового фронта поля излучения на зеркале гетеролазера в зависимости от параметров импульсов тока накачки) и происходила генерация низшей поперечной моды.

Оба описанных способа управления пространственными характеристиками гетеролазера, реализованные в /1, 2, 5/, были проанализированы в этих работах с точки зрения изменения профиля диэлектрической проницаемости в поперечном направлении (по ширине резонатора, ось y). Цель настоящего сообщения — обсудить возможный механизм влияния способов, примененных в /1, 2, 5/, на профиль диэлектрической проницаемости в продольном направлении (по длине резонатора, ось z) и вытекающие из этого механизма возможности дополнительного активного управления выходными характеристиками гетеролазера. Для проводимого анализа существенно, что уравнение для распространения электромагнитного излучения вдоль гетеролазера полностью аналогично "временному уравнению" Шредингера для частицы с двумя степенями свободы, причем роль времени играет продольная пространственная координата z , а роль потенциальной энергии — диэлектрическая проницаемость ϵ (см., напр., /6/). В работе /7/ использовалась эта аналогия для перенесения в задачу о распространении света в гетеролазере известного в квантовой механике принципа Франка — Кондона.

В общем случае необходимо учитывать неоднородности по длине резонатора гетеролазера. Воспользуемся моделью, в которой неоднородный по длине гетеролазер представляется в виде двух (или нескольких) состыкованных однородных по длине областей /8, 9/. Напомним, что эта модель возникла для объяснения кинков на ватт-амперных характеристиках, несимметрии диаграммы направленности и неидентичности выходных характеристик, снятых с противоположных торцевых зеркал такого лазера. Остановимся на практически важном случае, когда распределение диэлектрической проницаемости в одном поперечном направлении (по оси x) имеет ступенчатую форму (в случае гетеролазера распределение ϵ в направлении протекания тока определяется разностью показателей преломления активной области и широкозонных слоев гетероструктуры, т.е. в этом направлении имеется

сильный волновод), а в другом (по оси y) — аппроксимируется параболой (симметричный волновод, см., напр., /3/). Тогда диэлектрическая проницаемость в резонаторе описывается формулой:

$$\epsilon(y, z) = \epsilon_0 + a(z)y^2, \quad (1)$$

а уравнение для электромагнитного поля в гетеролазере формально совпадает с уравнением Шредингера для гармонического осциллятора с переменной частотой, и выражение для коэффициента связи мод Y_n, Y_m двух однородных частей, из которых составлен неоднородный по длине гетеролазер, совпадает с фактором Франка — Кондона $W_{nm} = \left| \int_{-\infty}^{\infty} Y_n^*(y) Y_m(y) dy \right|^2$ для осциллятора с переменной частотой и имеет вид /10/:

$$W_{nm} = \frac{n!}{m!} \sqrt{1-R} |P_{(m+n)/2}^{(m-n)/2}(\sqrt{1-R})|^2, \quad m > n, \quad (2)$$

где $P_k^l(x)$ — полиномы Лежандра, а параметр R может чисто формально интерпретироваться как коэффициент отражения от потенциала, форма которого определяется временной зависимостью частоты осциллятора. В данном случае роль временной зависимости частоты осциллятора играет продольная зависимость $a(z)$ в формуле (1). Можно подобрать такой характер изменения неоднородности вдоль гетеролазера (характер зависимости "потенциала" $a(z)$), чтобы удовлетворить условиям, при которых имеют место равенства $R = 0$ (аналог эффекта Рамзауэра в квантовой механике) и $W_{nm} = \delta_{nm}$ (перераспределения энергии электромагнитного поля по модам не происходит). В этом случае неоднородный по длине гетеролазер обладает такой структурой неоднородности, что имеет место эффект "просветления" в месте стыковки двух лазеров.

В свете описанных выше соображений относительно возможности использования в физике неоднородных по длине резонатора гетеролазеров аналога эффекта Рамзауэра представляет интерес осуществление эксперимента по управлению выходными характеристиками гетеролазеров. При этом можно использовать то преимущество инжекционных лазеров, что главным рычагом управления служит электрический ток. Например, если к полосковому контакту добавить дополнительный контакт малых размеров (по сравнению с

длиной полоскового контакта), перемещающийся по продольной координате, то дополнительный ток, подаваемый через этот контакт, создал бы локальное изменение диэлектрической проницаемости в узкой области по продольной координате (обусловленное конкуренцией вклада избыточных носителей и дополнительного разогрева активной области). Меняя положение контакта вдоль оси лазера и режим подаваемого через него дополнительного тока, получаем возможность менять характеристики дополнительной "потенциальной ямы", разделяющей две области гетеролазера в месте нахождения контакта. Тем самым создается возможность превращения неуправляемого неоднородного вдоль оси гетеролазера в управляемый "диэлектрической вставкой", создаваемой "потенциальной ямой". Эта "диэлектрическая вставка" может иметь характеристики, при которых возможно проявление аналога эффекта Рамзауэра, если глубина и ширина дополнительной "потенциальной ямы" подобраны таким образом, что выполняется условие "просветления".

Выше была обсуждена возможность управления характеристиками неоднородного по длине гетеролазера, однако описанный дополнительный контакт ("диэлектрическая вставка") может управлять работой и однородного по длине гетеролазера. Действительно, при наличии "диэлектрической вставки" однородный по длине лазер становится неоднородным (разрезанным на два однородных куска). Управляя характеристиками "вставки", мы управляем выходными характеристиками однородного (в отсутствие тока через дополнительный контакт) лазера. Структуру "потенциальной ямы" можно подбирать таким образом, чтобы ближнее и дальнее поля однородного лазера были различными на противоположных торцевых зеркалах, причем, если на одном зеркале имеется одно пятно, на другом можно создавать, меняя дополнительный ток "вставку", различные структуры светового пятна, отвечающие разным модам во втором лазере. Отметим в заключение, что анализ возможностей проявления аналога эффекта Рамзауэра в гетеролазере показывает, что наличие согласующего элемента в составном гетеролазере может привести к таким закономерностям, как сужение ближнего поля, симметризация диаграммы направленности, линеаризация ватт-амперной характеристики, идентичность выходных характеристик на противоположных торцевых зеркалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В у В а н Л ы к и др. Квантовая электроника, 8, 2697 (1981).

2. В у В а н Л ы к и др. Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Изд-во Одесского ГУ им. И.И. Мечникова, 1982, т.2, с. 64; Препринт ФИАН № 224, М., 1982.
3. С о о k D.D., N a s h E.R. J. Appl. Phys., 46, 1660 (1975).
4. M a g r i e D.T.F. J. Appl. Phys., 35, 1241 (1964).
5. Б о г а т о в А.П. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 26 (1980).
6. А д а м с М. Введение в теорию оптических волноводов. М., Мир, 1984, с. 512.
7. М а н ь к о М.А., М и к а е л я н Г.Т. Квантовая электроника, 12, № 11 (1985).
8. С а м р о с M.D. et al. IEEE J. Quantum Electron., QE-13, 687 (1977).
9. Б о г а т о в А.П. и др. Препринт ФИАН № 101, М., 1981.
10. М а л к и н И.А., М а н ь к о В.И. Динамические симметрии и когерентные состояния квантовых систем. М., Наука, 1979, с.46.

Поступила в редакцию 12 августа 1985 г.